

С.О. ГУБСЬКИЙ, В.Л. ЧУХЛІБ, М.В. БІБА, А.О. ОКУНЬ, Є.В. БАСОВА

ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОКАТКИ В РІЗНИХ САЕ-СИСТЕМАХ

В статті пропонується порівняльні результати моделювання поздовжньої прокатки в САЕ-системах ANSYS Workbench (модуль Static Structural) та QForm. Відомо, що ANSYS Workbench є САЕ-системою орієнтованою на вирішення широкого спектру завдань в механіці, QForm – вузькоспеціалізованою (орієнтована на обробку металів тиском). На відміну від статичних завдань в механіці, при прокатці метал піддається пластичним деформаціям, це призводить до виникнення нелінійних ефектів і, як наслідок, постійної зміни жорсткості досліджуваної моделі при зміні її форми. При моделюванні прокатки в ANSYS Workbench використовувався модуль Static Structural (матеріал з властивостями для нелінійних завдань та опцією врахування великих переміщень), в QForm спеціалізований модуль під прокатку - QForm Rolling.

Ключові слова: прокатка, валки, заготовка, деформація, метал, моделювання, аналіз, напруження, нагрів, навантаження, метод кінцевих елементів.

С.А. ГУБСКИЙ, В.Л. ЧУХЛЕБ, Н.В. БИБА, А.А. ОКУНЬ, Е.В. БАСОВА

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОКАТКИ В РАЗНЫХ САЕ-СИСТЕМАХ

В статье предлагаются сравнительные результаты моделирования продольной прокатки в САЕ-системах ANSYS Workbench (модуль Static Structural) и QForm. Известно, что ANSYS Workbench является САЕ-системой ориентированной на решение широкого спектра задач в механике, QForm - узкоспециализированной (ориентированной на обработку металлов давлением). В отличие от статических задач в механике металл при прокатке подвергается пластическим деформациям, это приводит к возникновению нелинейных эффектов и, как следствие, постоянного изменения жесткости исследуемой модели при изменении ее формы. При моделировании прокатки в ANSYS Workbench использовался модуль Static Structural (материал со свойствами для нелинейных задач и опцией учета больших перемещений), в QForm специализированный модуль под прокатку - QForm Rolling.

Ключевые слова: прокатка, валки, заготовка, деформация, металл, моделирование, анализ, напряжение, нагрев, нагрузки, метод конечных элементов.

S. GUBSKYI, V. CHUHLIB, M. BIBA, A. OKUN, Ye. BASOVA

COMPARISON OF THE RELEASE OF ROLLING SIMULATION IN DIFFERENT CAE SYSTEMS

The article presents comparative results of longitudinal rolling simulation in ANSYS Workbench (Static Structural module) and QForm CAE systems. It is known that ANSYS Workbench is a CAE system focused on solving a wide range of problems in mechanics, and QForm is a highly specialized pressure-oriented metal processing program. Unlike static tasks in mechanics metal, when the rolling, is subjected to plastic deformations, this leads to the emergence of nonlinear effects and, as a consequence, a constant change in the stiffness of the model under consideration when changing its shape. The Static Structural module of ANSYS Workbench (material with properties for nonlinear tasks and the option to account for large displacements) and QForm Rolling of QForm (specialized module for the rolling) were used for simulation of the rolling.

Keywords: rolling, rolls, billet, deformation, metal, modeling, analysis, stress, heating, loading, finite element method.

Вступ. Розробка технології та виготовлення деталей обробкою металів тиском (ОМТ) була і є сьогодні складним завданням. Адже необхідно отримати кінцеву деталь без дефектів, але й при цьому оптимізувати витрати металу, зменшити енерговитрати, підвищити стійкість інструменту та інше. Різноманітні системи автоматизованого проектування (CAD/CAE системи) дозволяють значно підвищити ефективність проектування технологічних процесів виробництва ОМТ [1].

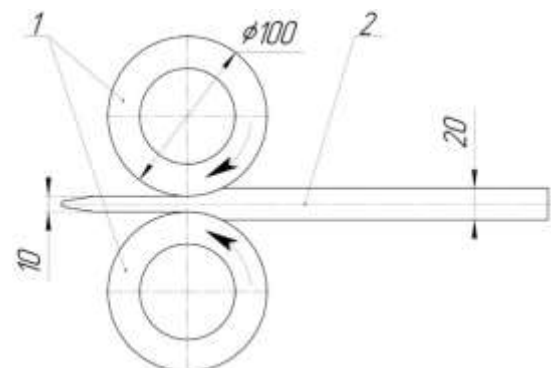
Як відомо, САЕ-системи діляться на вузькоспеціалізовані (наприклад, QForm, Deform, AutoForm та інші) та орієнтовані на вирішення широкого спектру завдань (наприклад, Ansys, Nastran, Abaqus та інших) [2-6].

Особливості та порівняння результатів моделювання процесів ОМТ в САЕ-системах, наприклад, QForm та Deform розглянуто в багатьох наукових роботах, наприклад [7-12].

Мета дослідження. При виготовленні деталей шляхом ОМТ метал піддається пластичним деформаціям. Програмне забезпечення платформи ANSYS Workbench (модуль Static Structural) є універсальним, але використовується для моделювання

процесів переважно в пружній або пружньо-пластичній зоні деформації металів. Програмні комплекси QForm та Deform працюють з металом в пластичній зоні деформації. В даній роботі буде зроблене порівняння моделювання прокатки заготовки в ANSYS Workbench (модуль Static Structural) та QForm.

Моделювання. Розглянемо процес моделювання поздовжньої прокатки, схема якого зображена на рис. 1



Рисеујр 1 - Схема поздовжньої прокатки:
1 – валки; 2 – заготовка

Заготовка 1 (рис. 1) має прямокутний переріз 20x40 та виготовлена з латуні марки Л90, температура валків 1 та заготовки 2 складає 20 °С.

При моделюванні прокатки в ANSYS Workbench вказуємо матеріал: валків – конструкційна сталь, заготовки – латунь. Так як в заготовці при прокатці будуть відбуватися значні пластичні деформації, то її матеріал задаємо з властивостями для нелінійних завдань.

Весь процес моделювання поздовжньої прокатки в ANSYS Workbench виконується в модулі Static Structural.

Параметри жорсткості матеріалу валків та заготовки задаємо, як Flexible (пружні).

Тип контакту поверхні валків з поверхнею заготовки –Frictional, коефіцієнт тертя 0,2 (рис. 2 а). Також в валках задаємо контакт виду «шарнір» (Joint) з типом зв'язку «обертання» (Revolute) між гранню та «землею» (Body-Ground) – рис. 2 б

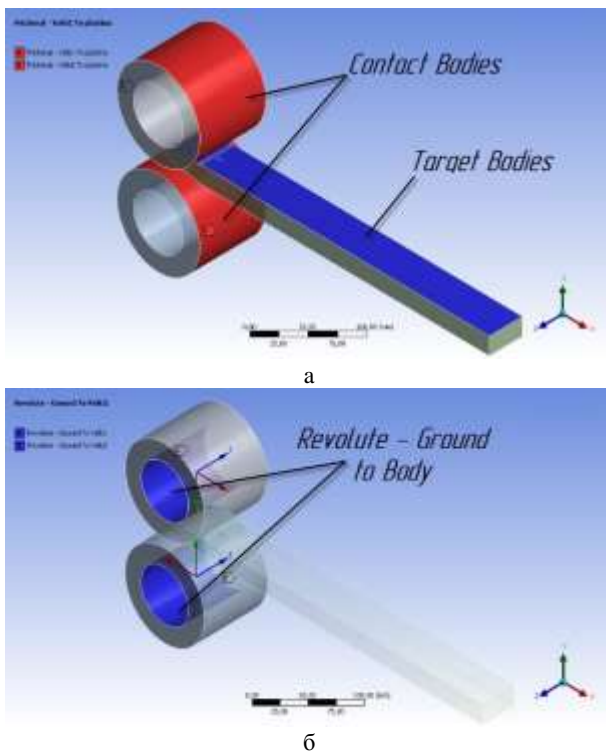


Рисунок 2 - Схема контактів моделі поздовжньої прокатки в ANSYS Workbench: а, б – тими систем зв'язків

Щоб врахувати великі переміщення в заготовці активуємо пункт «Великі переміщення» (LargeDeflection - on) в вітці AnalysisSettings. Це дасть можливість враховувати нелінійні ефекти та змінювати жорсткість конструкції при зміні форми заготовки програмі автоматично.

Для формування сітки кінцевих елементів заготовки обираємо метод Sweep, розмір елементів 5 мм. Сітку для валків будуємо шляхом завдання кількості ліній розбивання – 15 (параметр Number of Divisions). В результаті отримуємо сітку кінцевих елементів моделі поздовжньої прокатки в ANSYS

Workbench – рис. 3 а, з прийнятними характеристиками сітки – рис. 3 б.

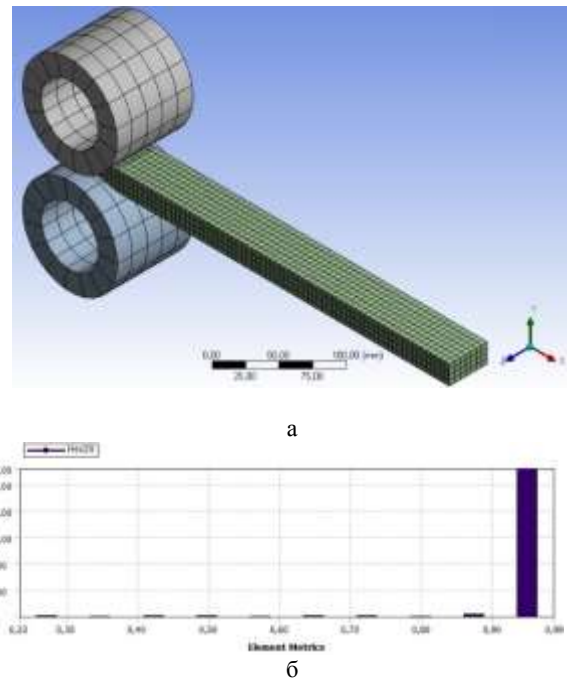


Рисунок 3 - Схема розбиття на сітку кінцевих елементів в ANSYS Workbench: а – моделі поздовжньої прокатки; б – характеристики сітки

Задаємо закріплення заготовки (Displacement) дозволяючи тільки переміщення по осі X. Зусилля в шарнірах (Joint Load) обираємо типу «Обертання» (Rotation) на кут для кожного валка в 180° чи -180° в залежності від необхідного напрямку обертання – рис. 4

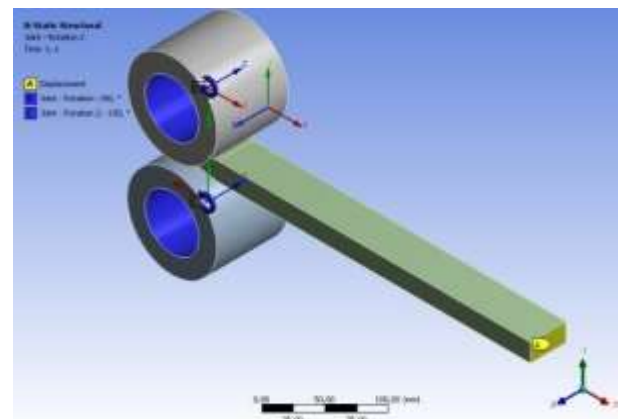


Рисунок 4 - Схема закріплення та навантаження моделі поздовжньої прокатки в ANSYS Workbench

Для моделювання досліджуваної схеми прокатки в QForm активуємо модуль QForm Rolling, завантажуюмо геометрію та позиціонуємо елементи, задаємо вісі, матеріал та температуру заготовки і валків. Зазначаємо, що змащування відсутнє (Unlubricated). Тип приводу створюємо «Універсальний» задаючи для кожного валка кут, напрям та швидкість обертання навколо своєї вісі.

Результати моделювання. В результаті моделювання поздовжньої прокатки в ANSYS Workbench отримуємо (розглядалася тільки заготовка):

- деформації заготовки по осі Z відносно середини, що складають максимально 2,68 мм по краях моделі (рис. 5)

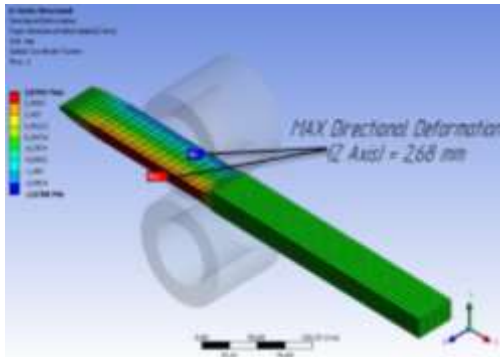


Рисунок 5 - Деформації заготовки по осі Z відносно середини при моделюванні прокатки в ANSYS Workbench

- максимальні еквівалентні напруження 1154-1192 МПа в місці деформації заготовки валками (рис. 6 а та б)

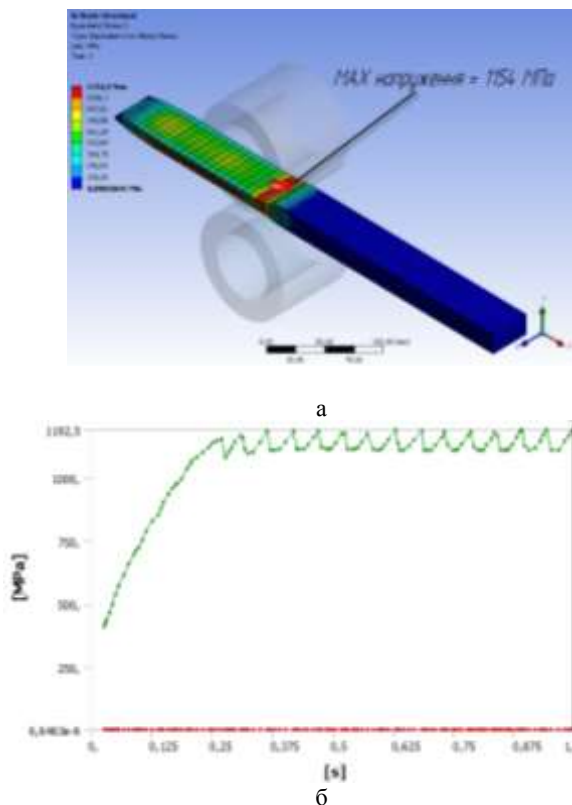


Рисунок 6 - Еквівалентні напруження в заготовці, що виникають при моделюванні поздовжньої прокатки в ANSYS Workbench: а – розподілення напружень в заготовці, б – графік зміни максимальних та мінімальних напружень в заготовці за час 1 с

- еквівалентні пластичні відносні деформації заготовки складають максимально 0,73 (рис. 7)

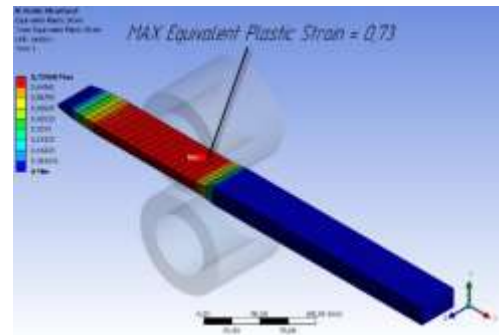


Рисунок 7 - Еквівалентні пластичні відносні деформації заготовки при моделюванні поздовжньої прокатки в ANSYS Workbench

В результаті моделювання прокатки в QForm отримуємо (розглядалася тільки заготовка):

- нагрів заготовки до температури 56 °С;
- розподілення інтенсивності напружень в заготовці – рис. 8

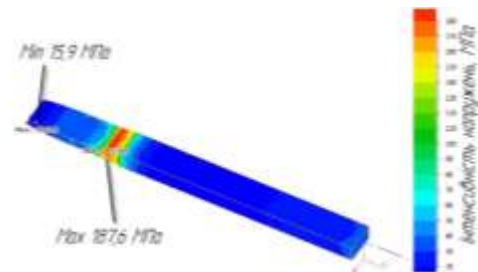


Рисунок 8 - Розподілення інтенсивності напружень в заготовці при моделюванні поздовжньої прокатки в QForm

- пластичні деформації в заготовці – рис. 9

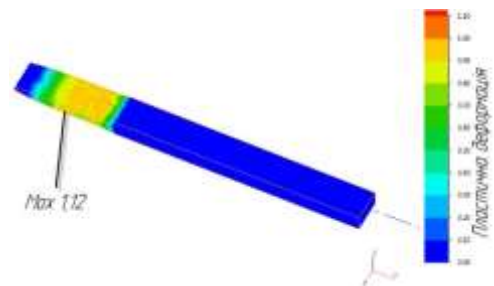


Рисунок 9 - Пластичні деформації в заготовці при моделюванні поздовжньої прокатки в QForm

Порівнюючи результати моделювання поздовжньої прокатки при однакових умовах в ANSYS Workbench (модуль Static Structural) та QForm отримуємо:

- значно вищі напруження (в 5 разів) при моделюванні моделі ANSYS Workbench (див. рис. 6 та 8);
- вищі пластичні деформації на 35 % при моделюванні моделі в QForm (див. рис. 7 та 9).

Висновки. ANSYS Workbench (модуль Static Structural) використовується для моделювання процесів переважно в пружно-пластичній зоні деформацій. Використання даного модуля в пластичній зоні деформації, як показало моделювання наведене в

даній роботі, призведе до значних погрешностей в результатах. Моделювання прокатки в QForm дало очікувані результати, наближені до реальних. Напевне, сходиність результатів моделювання прокатки в ANSYS Workbench модулях Transient Structural або Explicit Dynamics з QForm буде краща, але це потребує подальших досліджень.

Список литературы

1. Горбунов И.В., Ефременков И.В., Леонтьев В.Л., Гисметулин А.Р. Особенности моделирования процессов механической обработки в САЕ-системах. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. Самара, 2013. т.15, №4(4), С. 846-852.
2. Барышников М.П., Чукин М.В., Бойко А.Б. Анализ программных комплексов для расчета напряженно-деформированного состояния композиционных материалов в процессах обработки давлением. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, моделирование металлургических процессов*. Магнитогорск, 2012. №4, С. 72-74.
3. Поляков С.А., Аксенов С.А., Бобер И.В. и др. Математическое моделирование в нелинейной механике. *ИКИ РАН ГОУ ВПО «Московский государственный институт электроники и математики (технический университет)»*. Москва, 2009. 42 с.
4. Руденко Н. А. Моделирование процесса прессования порошковых изделий. *Обработка материалов давлением*. 2016. № 2. С. 46-50.
5. Губський С. О., Цебренько М.В., Окунь А.О. Дослідження напруженого деформованого стану металоконструкції стелю механізму підйому вантажу. *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. Сер. : Технології в машинобудуванні*. Харків : НТУ «ХПІ», 2018. № 6 (1282). С. 50-54.
6. QForm 2D/3D Програма для моделювання процесів обробки металів тиском. *ООО «КванторФорм»*. Москва, 2017. ч. 1-4.
7. http://studvesna.ru/db_files/articles/179/article.pdf.
8. Горохов Ю.В., Константинов И.Л. Компьютерное моделирование процессов горячей объемной штамповки алюминиевых сплавов. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. Тула, 2017. Вып.11, ч.1, С. 101-109.
9. <http://www.artech-eng.ru/images/stories/Stat/DEFORM/Ore11.pdf>.
10. Bandini C., Reggiani B., Donati L., Tomesani L. Code Validation and Development of User Routines for Microstructural Prediction with Qform. *Materialstoday: Proceedings*. Volume 2. Issue 10. Part A. 2015. P. 4904-4914.
11. Łukaszek-Solek A., Krawczyk J., Śleboda T., Grelowski J. Optimization of the hot forging parameters for 4340 steel by processing maps. *Journal of Materials Research and Technology*. Volume 8. Issue 3. May–June 2019. P. 3281-3290.

12. Alimov A., Evdokimov D., Evsyukov S. Temperature and strain rate dependent friction model for hot forming of Ti-6Al-4V titanium alloy. *Materialstoday: Proceedings*. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.059>.

References (transliterated)

1. Gorbunov I.V., Yefremenkov I.V., Leont'yev V.L., Gismetulin A.R. Osobennosti modelirovaniya protsessov mekhanicheskoy obrabotki v CAE-sistemakh. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. Samara, 2013. t.15, №4(4), pp. 846-852.
2. Baryshnikov M.P., Chuikin M.V., Boyko A.B. Analiz programnykh kompleksov dlya rascheta napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kompozitsionnykh materialov v protsessakh obrabotki davleniyem. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova, modelirovaniye metallurgicheskikh protsessov*. Magnitogorsk, 2012. №4, pp. 72-74.
3. Polyakov S.A., Aksenov S. A., Bober I. V. i dr. Matematicheskoye modelirovaniye v nelineynoy mekhanike. *IKI RAN GOU VPO «Moskovskiy gosudarstvennyy institut elektroniki i matematiki (tekhnicheskiy universitet)»*. Moskva, 2009. 42 p.
4. Rudenko N. A. Modelirovaniye protsessa pressovaniya poroshkovykh izdeliy. *Obrabotka materialov davleniyem*. 2016. № 2. pp. 46-50.
5. Gubskiy S. O., Tsebrenko M.V., Okun A.O. Doslidzhennya napruzhеного deformatsionного stanu metalokonstrukttsiyi stendy mekhanizmu pidyomu vantazhu. *Visnyk Nats. tekhn. un-tu "KHPI" : zb. nauk. pr. Ser. : Tekhnolohiyi v mashynobuduvanni*. Kharkiv : NTU "KHPI", 2018. № 6 (1282). pp. 50-54.
6. QForm 2D/3D Programma dlya modelirovaniya protsessov obrabotki metallov davlenim. *ООО «KvantorForm»*. Moskva, 2017. ch. 1-4.
7. http://studvesna.ru/db_files/articles/179/article.pdf.
8. Gorokhov Y.V., Konstantinov I.L. Komp'yuternoye modelirovaniye protsessov goryachey ob'yemnoy shtampovki alyuminiyevykh splavov. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki*. Tula, 2017. Vyp.11, ch.1, pp. 101-109.
9. <http://www.artech-eng.ru/images/stories/Stat/DEFORM/Ore11.pdf>.
10. Bandini C., Reggiani B., Donati L., Tomesani L. Code Validation and Development of User Routines for Microstructural Prediction with Qform. *Materialstoday: Proceedings*. Volume 2. Issue 10. Part A. 2015. P. 4904-4914.
11. Łukaszek-Solek A., Krawczyk J., Śleboda T., Grelowski J. Optimization of the hot forging parameters for 4340 steel by processing maps. *Journal of Materials Research and Technology*. Volume 8. Issue 3. May–June 2019. P. 3281-3290.
12. Alimov A., Evdokimov D., Evsyukov S. Temperature and strain rate dependent friction model for hot forming of Ti-6Al-4V titanium alloy. *Materialstoday: Proceedings*. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.059>.

Поступила (received) 23.04.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Губський Сергій Олександрович (Gubskiy Sergey Alexandrovich, Sergii Gubskiy) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Обробка металів тиском»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7797-9139>; тел.: (066) 219-20-50; e-mail: Gubskiyso@gmail.com.

Чухліб Віталій Леонідович (Chukhlib Vitalij Leonidovich) – доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «Обробка металів тиском»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6176-0917>; тел.: (095) 792-55-92; e-mail: profdnepro@gmail.com.

Біба Микола Вікторович (Biba Nikolay Viktorovich, Mykola Biba) – кандидат технічних наук, директор MICAS Simulations Ltd; м. Оксфорд, Велика Британія; e-mail: nick@qform.com.

Окунь Антон Олександрович (Okun' Anton Alexandrovich, Anton Okun) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Обробка металів тиском»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6467-4229>; тел.: (067) 578-63-17; e-mail: okunanton@gmail.com.

Басова Євгенія Володимирівна (Basova Evgeniya Vladimirovna, Yevheniia Basova) – кандидат технічних наук, доц. кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8549-4788>; тел.: (057) 720-66-25; e-mail: e.v.basova.khpi@gmail.com.